

ESTUDIO DE LA ENERGIA SOLAR RECIBIDA EN EL OBSERVATORIO DE TALAVERA LA REAL (BADAJOZ)

*Egido M., Seco J. y Egido A.
Departamento de Física General y de la Atmósfera
Universidad de Salamanca*

1. Introducción

Este trabajo se inscribe en un grupo más amplio de estudios locales sobre la radiación solar global (G) recibida sobre una superficie horizontal. Estos estudios tienen como objetivo, no sólo el conocimiento de la radiación global como una variable más dentro del contexto meteorológico sino el propiciar que el análisis de los datos que realizamos, pueda servir como índice en otros estudios o trabajos de carácter agrícola, industrial, doméstico, etc., en los que se necesite conocer la evolución continuada de la energía procedente del sol, en una zona localizada, bien para alguno de los objetivos enumerados o bien para un potencial aprovechamiento energético por cualquiera de los sistemas más o menos convencionales existentes. Todo ello, sin menoscabo del interés que presenta la radiación solar como variable meteorológica, ya mencionado, y como fuente de energía, responsable en última instancia, de los fenómenos atmosféricos.

2. Obtención y tratamiento de los datos

Este trabajo ha sido realizado con los datos de radiación solar global registrados en el observatorio de la base aérea de Talavera La Real (Badajoz) cuyas características geográficas son:

latitud: 38° 53' N

longitud: 6° 49' W

elevación: 185 m sobre el nivel del mar

los datos utilizados son diarios y corresponden al

período: enero 1976-diciembre 1980 ambos inclusive.

El registro de los datos se realizó con un piranómetro termoelectrico Kipp-Zonen dotado de una termopila Moll CM5 con registrador galvanométrico LS 144K1 cuya calibración fue efectuada el 10 de octubre de 1974 con arreglo a la escala pirheliométrica internacional de Davos (Suiza), con milivoltímetro tipo X219. El aparato tiene las soldaduras calientes de la termopilas ennegrecidas convenientemente y las frías encajadas en una masa metálica de gran capacidad calorífica que se mantiene a la temperatura del aire. Las diferencias térmicas entre los dos grupos de soldaduras originan una f.e.m. Seebeck que es la que da lugar a la medida.

Aunque alguna de las unidades de radiación solar usadas en este trabajo no corresponden al Sistema Internacional las hemos utilizado por ser de uso arraigado en este campo de investigación y por considerar que pudieran tener interés en algunos casos concretos.

Las medidas de temperaturas han sido todas ellas registradas con la instrumentación convencional que para la medida de esta variable se utiliza en toda la red meteorológica mundial (termómetros de máxima y mínima, termógrafo, etc.).

Como instrumento de cálculo se ha utilizado principalmente un ordenador Philips 2000 dotado con microprocesador Z80 de 8 bits y subsidiariamente un calculador electrónico Hewlett Packard 9100 B.

3. Aspectos teóricos

Para la obtención de una expresión matemática representativa de la Radiación solar global estudiada, se ha ajustado a los datos disponibles una serie de Fourier de cuatro términos cuya expresión trigonométrica es del tipo:

$$G(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos nx + B_n \sin nx) \quad (1)$$

Las diferencias de fase entre las variables radiación global y temperatura se han determinado de una sola vez a través de la expresión:

$$y(t) = C_0 + C_1 \sin (wt + \phi) \quad (2)$$

aplicada a las dos variables que se comparan.

La determinación de los índices estadísticos generales: medias, medianas, cuartiles, máximos y mínimos absolutos y medias de los diez valores más altos y de los diez más bajos, se ha realizado por los métodos usuales que recoge la bibliografía especializada: Arley, Buch, Spiegel, etc. Se ha aplicado la teoría general del análisis de series de tiempo al estudio de la tendencia, centrándonos en las variaciones seculares de la R.S.G. De los posibles índices existentes para el cálculo de la tendencia hemos usado el método del movimiento medio de tres y cinco variables.

La radiación solar en el límite de la atmósfera, conocida también en la bibliografía como radiación extraterrestre, (G_0), expresa la energía recibida sobre una superficie horizontal idealmente situada en el límite de la atmósfera, en el período considerado y en la latitud correspondiente.

Para disponer de la radiación solar en el límite de la atmósfera se puede recurrir a diversos métodos, uno de ellos es la utilización de tablas, por ejemplo las de Napier Shaw, las Smithsonian Tables, etc., o bien se puede efectuar el cálculo a partir de los datos de latitud y declinación mediante la expresión:

$$\frac{d G_0}{dt} = \frac{J_0}{r^2} \cos z \quad (3)$$

donde:

$$\cos z = \sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos w$$

z es la distancia cenital del sol.

L la latitud del lugar (para este caso $38^\circ 53' N$).

δ la declinación.

W el ángulo horario del sol.

r es el radio vector relativo (distancia desde el centro de la Tierra al centro del Sol).

J_0 es la constante solar que la SMITHSONIAN INSTITUTION cifra en $1,94 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$.

integrando resulta:

$$G_0 = \int_{\text{orto}}^{\text{ocaso}} \frac{J_0}{r^2} (\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos w) dt \quad (4)$$

de donde

$$G_0 = \frac{2J_0}{r^2} [\sin L \sin \delta (w_{\text{oc}}) + \cos L \cos \delta \sin w_{\text{oc}}] \quad (5)$$

$$y_0 = \frac{1}{w} \arccos (-\operatorname{tg} L \cdot \operatorname{tg} \delta)$$

y

$$w = \frac{2\pi}{366}$$

La expresión que resulta para el cálculo es la siguiente:

$$G_0 = \frac{24}{\pi} r J_0 (\cos L \cos \delta \sin w_s + w_s \sin L \sin \delta) \quad (6)$$

donde: $r = (1 + 0,33) 360 N / 365$ (W_s está medido en radianes)

De esta forma con un programa elaborado para este fin calculamos los valores de G_0 para la latitud dada y para los 365 días del año. Des-

pués hicimos una comparación de los datos obtenidos de las tablas de NAPIER SHAW. Como estos últimos no figuran para todas las latitudes, recurrimos a la interpolación mediante la fórmula:

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Se ha determinado también la radiación neta, R_N , mediante la expresión:

$$R_N = 0,59 G - 104,75 (G/G_0) + 6,09$$

en la que la R_N se calcula a partir de los datos de radiación solar global G y de los de radiación solar extraterrestre G_0 . Se trata de una fórmula general de cálculo indirecto de la radiación neta que figura en la bibliografía.

4. Resultados y discusión

4.1. Radiación Solar Extraterrestre

Calculamos la radiación en el límite de la atmósfera de acuerdo con el procedimiento indicado en el apartado 3. Un resumen de los datos calculados a través de la expresión 6, frente a los obtenidos a partir de las tablas por interpolación, son los que se muestran en la tabla siguiente:

TABLA I
RADIACION SOLAR EN EL LIMITE DE
LA ATMOSFERA (37° 53' N)

	G_0 (interpolación) MJ/m ² día	G_0 (cálculo fórmula) MJ/m ² día
Enero.....	16,5	16,6
Febrero.....	21,7	21,9
Marzo.....	28,7	28,7
Abril.....	35,6	35,4
Mayo.....	40,4	40,2
Junio.....	42,6	42,2
Julio.....	41,2	41,1
Agosto.....	37,6	37,3
Septiembre.....	31,3	31,3
Octubre.....	24,2	24,3
Noviembre.....	18,0	18,4
Diciembre.....	14,7	14,8

Coefficiente de correlación entre ambas $r = 0,99$

Se observa, una gran concordancia entre los datos calculados por los procedimientos descritos, lo que nos confirma la validez de cualquiera de estos dos métodos para el cálculo de la radiación extraterrestre.

4.2. Radiación Solar Global

Cuantificados los valores de G procedentes de las bandas del piranómetro Kipp Zonen empleado, obtuvimos los datos diarios cuyos promedios mensuales son los de la tabla II.

La gráfica 1 muestra estos valores representados para los doce meses del año.

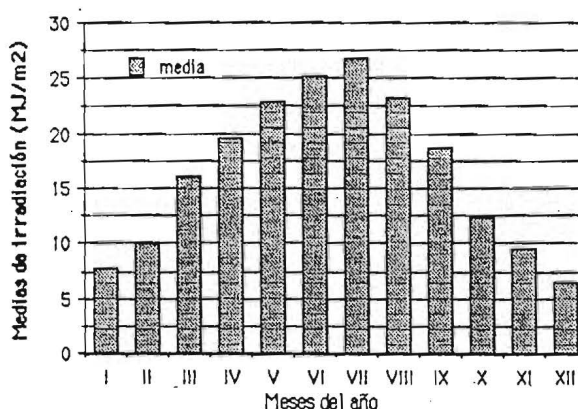


Figura 1

Se aprecia tanto en la tabla como en la gráfica un rápido crecimiento de la radiación solar global desde el mes de enero hasta julio en el que se alcanza el valor promedio máximo anual.

Hay que destacar: que el promedio máximo de radiación se alcanza en julio frente a lo que cabría esperar teniendo en cuenta que la radiación solar global recibida en el límite de la atmósfera el máximo corresponde al mes de junio. Esto sin duda es atribuible a las condiciones atmosféricas relativas de ambos meses que conduce a pensar que la radiación que llega a la superficie es mayor en julio aun cuando la energía que llega al límite de la atmósfera sea mayor en junio. Este fenómeno se produce con carácter general en el período en estudio, ya que de los cinco años considerados, en cuatro de ellos, valorados indivi-

TABLA II
PROMEDIOS DE RADIACION SOLAR GLOBAL
(MJ/m² día)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
7,75	10,01	16,11	19,54	22,96	25,18	26,75	23,35	18,75	12,33	9,50	6,59

dualmente, se produce ese hecho. Tan sólo en el año 1979 el valor de G, recibido en la superficie en el mes de julio, es inferior al de junio.

Aunque en este trabajo, que consideramos sólo de primeros resultados no reproducimos todos los datos manejados en la elaboración del mismo, sí es preciso hacer observar que, en el análisis de los datos decenales de radiación solar global recibida en Talavera La Real (Badajoz), las mayores fluctuaciones del año corresponden, en lo que a G se refiere, a los meses de primavera y sin duda son consecuencia de las situaciones sinópticas propias de esta estación.

4.3. Índices Estadísticos Generales

Los índices estadísticos generales obtenidos de la muestra de datos para el período estudiado, son en promedio los que se muestran a continuación en la tabla 3 y se representan en la gráfica 2.

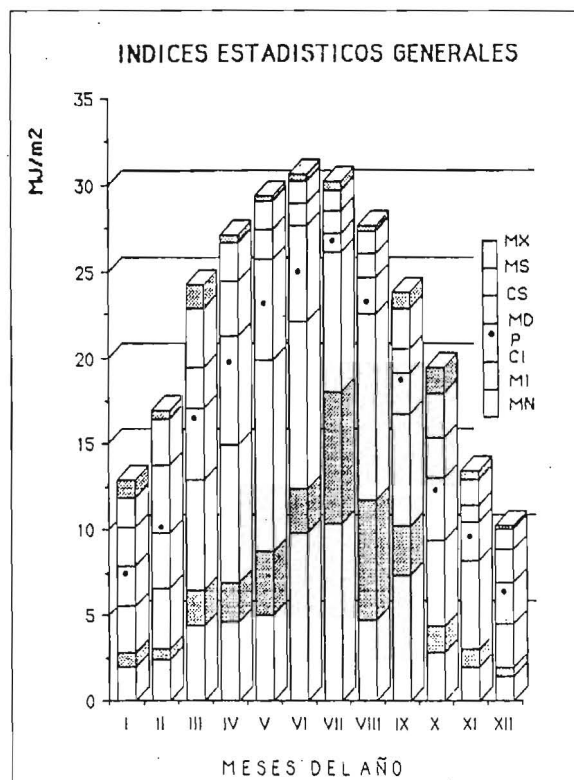


Figura 2

TABLA III
INDICES ESTADISTICOS GENERALES

	P	MD	MS	MI	MX	MN	CS	CI
Enero	7,75	7,87	11,89	2,81	12,90	1,92	10,11	5,53
Febrero.....	10,01	9,82	16,43	2,97	16,92	2,30	13,74	6,57
Marzo	16,11	17,05	22,79	6,54	24,26	4,35	19,39	12,90
Abril.....	19,54	21,22	26,64	6,93	27,06	4,60	24,46	14,93
Mayo	22,96	25,76	29,01	8,77	29,33	5,06	27,40	19,81
Junio.....	25,18	27,69	30,15	12,41	30,67	9,80	28,91	22,12
Julio.....	26,75	27,23	29,71	18,06	30,25	10,30	28,45	26,10
Agosto.....	23,25	24,63	27,29	11,79	27,65	4,73	26,04	22,56
Septiembre.....	18,75	19,06	22,88	10,29	23,79	7,33	20,44	16,80
Octubre	12,33	13,07	17,93	4,40	19,44	2,76	15,41	9,42
Noviembre.....	9,50	10,43	12,97	2,96	13,49	1,88	11,43	8,21
Diciembre	6,59	6,91	10,00	1,91	10,26	1,38	8,88	4,44

Las siglas utilizadas son:

P	Promedio o media mensual de radiación solar global.
MD	Valor de la mediana.
MS	Media de los diez valores más altos.
MI	Media de los diez valores más bajos.
MX	Máximo absoluto.
MN	Mínimo absoluto.
CS	Cuartila superior.
CI	Cuartila inferior.

En los promedios de los diez valores más altos, lo mismo que con las medias mensuales, se observa un crecimiento de los valores desde los meses de invierno hasta los de verano, alcanzándose la cota más alta de estos promedios de diez valores en el mes de junio. La evolución de estos valores mantiene en general un paralelismo con la de los máximos absolutos si bien hay que destacar que las diferencias cuantitativas entre ambos decrecen en los meses centrales del año, lo que es interpretable en el sentido de que los máximos absolutos tienen un carácter más excepcional, representan situaciones más singulares en los meses de invierno que en los de verano. Los dos meses en los que se alcanza mayor singularidad en cuanto a máximos absolutos son marzo y octubre con diferencias de 1,47 y 1,51 MJ/m² respecto de las medias de los diez valores más altos.

Por lo que se refiere al comportamiento de los mínimos absolutos y de las medias de los diez valores más bajos, existe entre ambos cierta correlación en cuanto que su diferencia es aproximadamente creciente de invierno a verano debiéndose destacar los mínimos absolutos de julio y agosto que se alejan sensiblemente de la media de los diez valores más bajos, lo que nos conduce a pensar que los mínimos absolutos de julio y

agosto se corresponden con situaciones de radiación global realmente excepcionales, le sigue el mes de mayo en este carácter de excepcionalidad, pero con una cota sensiblemente inferior a la de los citados meses.

En cuanto a la media de la dispersión de los datos tomamos la relación intercuartilar o rango intercuartílico, de cuya observación se deduce que abril es el mes más variable del año en cuanto a radiación global se refiere (9,53 MJ/m²) seguido de mayo y febrero. El mes menos variable es julio (2,35 MJ/m²). En la tabla 4 se recogen los valores de los rangos intercuartílicos correspondientes a los datos de radiación estudiados. En la gráfica 3 se han representado en orden decreciente de arriba abajo los valores de rangos intercuartílicos.

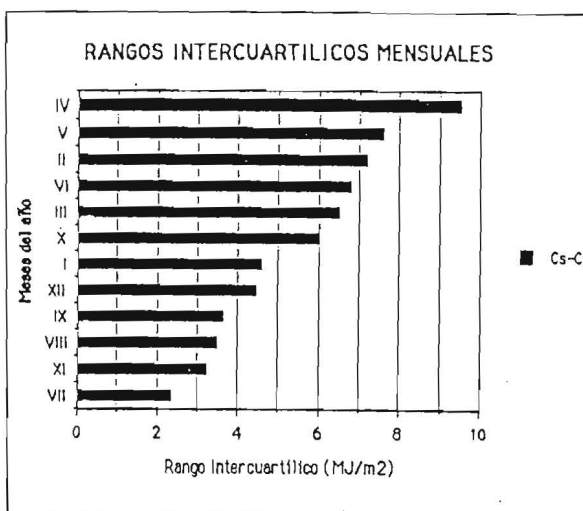


Figura 3

TABLA IV
RANGOS INTERCUARTILICOS
(MJ/m² día)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
4,58	7,17	6,49	9,53	7,59	6,79	2,35	3,48	3,64	5,99	3,22	4,44

4.4. Valores de Radiación Acumulada

En determinadas aplicaciones es preciso conocer el número de días consecutivos en que la radiación solar se ha mantenido superior o infe-

rior a un valor dado. Como la representación y análisis pormenorizado de estos datos, rebasarían la extensión de este trabajo, nos limitamos a incluir aquí los valores de radiación solar mensual acumulada para el año 1978, expresada en MJ/m² y en KWh/m². En la gráfica 4 se representan los valores de la tabla 5 donde su sencillez de interpretación nos ahorra cualquier comentario adicional.

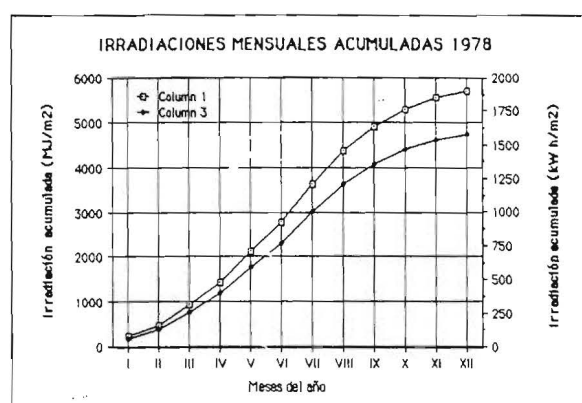


Figura 4

4.5. Análisis Armónico

Con el fin de obtener expresiones matemáticas representativas de la evolución de la radiación global en la zona estudiada, hemos ajustado una serie de Fourier de cuatro términos a las variables citadas en la forma indicada en el apartado 3, los resultados obtenidos son:

$$G(t) = 395,55 - 217,62 \cos wt + 6,08 \cos 2wt - 11,52 \cos 3wt + 0,53 \cos 4wt + \dots \\ + 76,41 \sin wt + 13,71 \sin 2wt - 7,78 \sin 3wt - 2,79 \sin 4wt + \dots$$

o bien

$$G(t) = 16,57 - 9,11 \cos wt + 0,25 \cos 2wt - 0,48 \cos 3wt + 0,02 \cos 4wt + \dots \\ + 3,20 \sin wt + 0,57 \sin 2wt - 0,32 \sin 3wt - 0,11 \sin 4wt + \dots$$

en las que los valores vienen dados en langley/día en el primer caso y en MJ/m² día en el segundo.

$$T(t) = 16,26 - 7,82 \cos wt + 0,85 \cos 2wt + 0,20 \cos 3wt - 0,22 \cos 4wt + \dots \\ - 1,41 \sin wt + 1,47 \sin 2wt + 0,05 \sin 3wt - 0,46 \sin 4wt + \dots$$

aquí la temperatura viene expresada en grados centígrados.

Es preciso resaltar la gran concordancia entre los datos reales y los datos calculados a través de estas ecuaciones de Fourier. El coeficiente de correlación entre los datos de G (real) y G (Fourier) es de $r = 0,99$ lo que nos muestra el grado de bondad del ajuste efectuado.

La gráfica 5 muestra la curva correspondiente a la G calculada con la serie de cuatro armónicos.

Las gráficas 6, 7, 8 y 9 muestran: la primera los cuatro armónicos representados conjuntamente y con la misma escala y las tres restantes los armónicos 2.º, 3.º y 4.º respectivamente a una escala mayor.

TABLA V
TABLA DE RADIACIONES MENSUALES ACUMULADAS PARA EL AÑO 1978

Meses		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Valor	MJ/m ²	230,6	477,9	932,9	1.451,2	2.134,5	2.786,3
	kwh/m ²	63,8	132,3	258,2	401,8	590,9	771,3
Meses		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Valor	MJ/m ²	3.645,7	4.363,6	4.901,4	5.286,8	5.551,4	5.702,9
	kwh/m ²	1.009,2	1.208,0	1.356,9	1.463,6	1.536,9	1.578,8

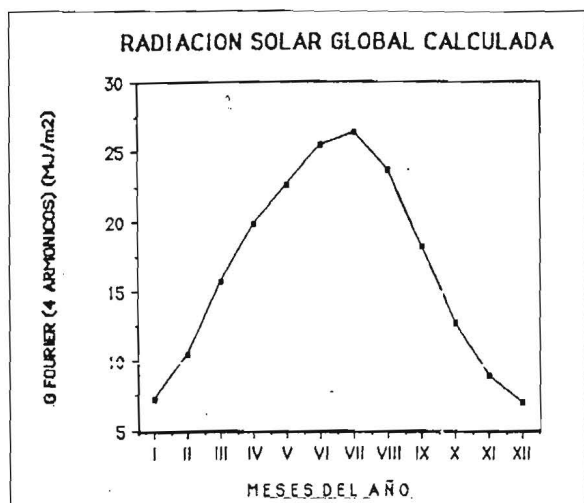


Figura 5

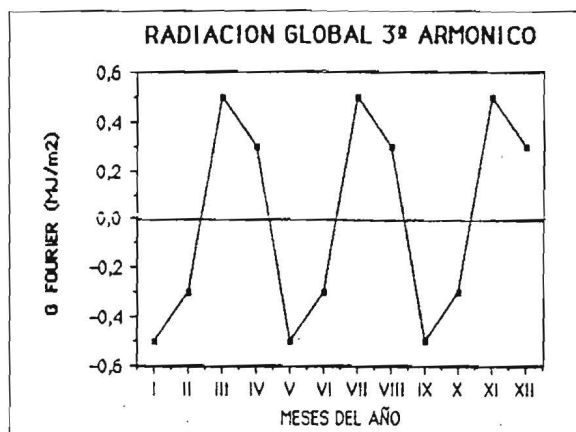


Figura 8

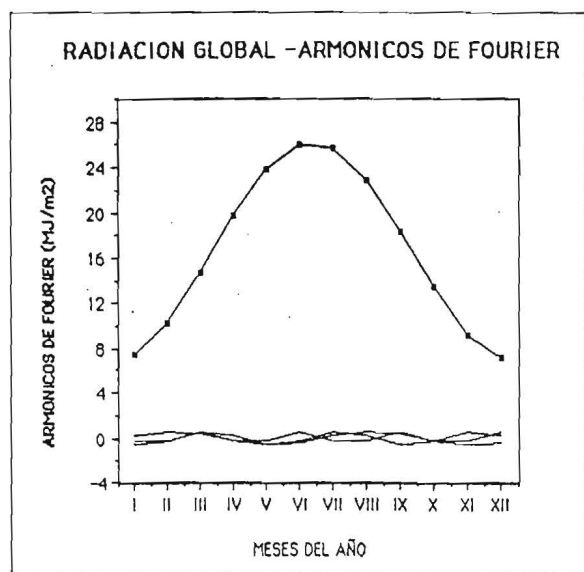


Figura 6

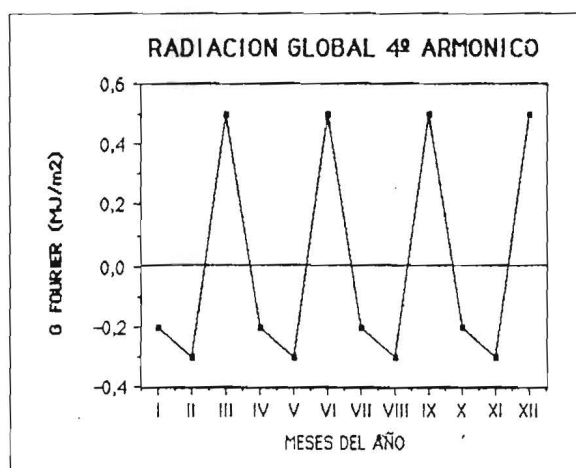


Figura 9

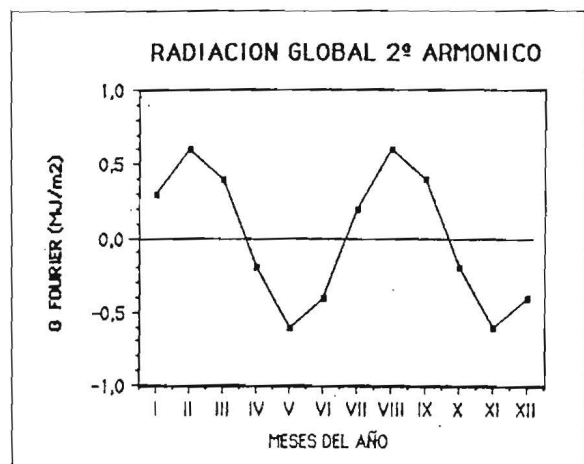


Figura 7

Se observa cómo el primer armónico, junto con el valor medio, representan la máxima contribución, estando además en fase con la curva real; aquí el período es por tanto de doce meses. Los restantes armónicos suponen una contribución más o menos importante de acuerdo con sus valores de amplitud y presentan períodos distintos como cabía esperar. Sin embargo, el atribuir a estos términos una o varias causas físicas determinadas resulta arriesgado. Una interpretación más prudente nos conduce a considerar a estos armónicos como simples términos correctores.

4.6. Relaciones de Fase G-T

De acuerdo con lo señalado en el apartado 3 calculamos las ecuaciones senoidales para G y para T, resultando la tabla 5 en la que se reco-

gen los valores de C_0 , C_1 y ϕ derivados de la ecuación 2. Se recogen también los valores de las diferencias de fase entre la radiación solar global y la temperatura media del aire ($\Delta\phi$) que en la tabla figuran ya expresadas en días. También se han calculado estas ecuaciones para los valores promedio resultando las siguientes ecuaciones:

$$G(t) = 395,55 + 230,65 \sin(\omega t - 1,76)$$

$$T(t) = 16,26 + 7,95 \sin(\omega t - 2,27)$$

y la diferencia de fase:

$$\Delta\phi = 0,51 \text{ radianes} = 29,62 \text{ días}$$

4.7. Índices de Transparencia y Atenuación Atmosféricas

Un índice de estima de la transparencia atmosférica para la radiación solar, viene dado por la relación entre G y G_0 .

La gráfica 10 representa los cocientes G/G_0 (en %) y los movimientos medios de 3 valores de estos cocientes, ambos para los doce meses del año. Destaca un máximo absoluto de 64,7 % en julio y dos máximos relativos en marzo y noviembre. El mínimo absoluto se da en diciembre con 44,6 %.

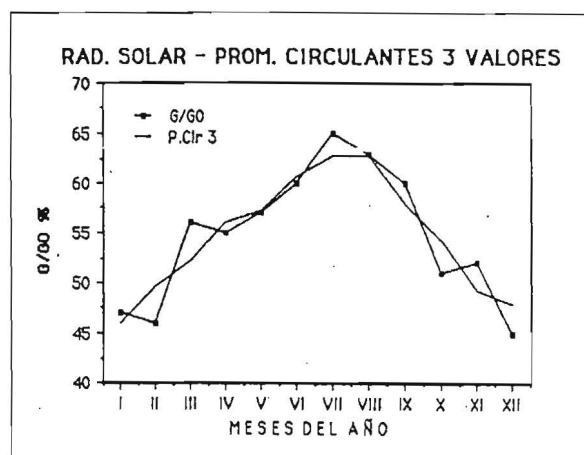


Figura 10

La curva de tendencia presenta lógicamente una mayor regularidad alcanzando su máximo en agosto. Del conjunto de la gráfica se deduce que

la transparencia atmosférica en Badajoz es fluctuante a lo largo del año y mayor en los meses de verano que en los de invierno, produciéndose oscilaciones que van desde 49,7 a 62,7 %.

La atenuación expresada en términos de opacidad de acuerdo con la expresión $A = 1 - (G/G_0)$, presenta valores decrecientes de invierno a verano alcanzándose un valor máximo en diciembre del 55 % y un mínimo en julio del 35 % como era lógico esperar.

Es destacable el comportamiento de la radiación en Badajoz en lo que a transparencia u opacidad atmosférica se refiere ya que contrasta con lo obtenido en otros observatorios estudiados, particularmente con los situados en las proximidades del mar.

4.8. Isopletras de Radiación Solar

Con los valores medios decádicos obtenidos de los registros radiativos correspondientes al año 1978, recogidos en la tabla 6, hemos representado (fig. 11) las isopletras medias horarias de ra-

TABLA VI
RELACIONES RADIACION SOLAR
TEMPERATURA

		C_0	C_1	ϕ	$\Delta\phi$ (días)
1976	G(t)	16,46	8,96	-1,73	25,56
	T(t)	16,02	8,78	-2,17	
1977	G(t)	16,64	10,44	-1,73	36,01
	T(t)	16,41	6,42	-2,35	
1978	G(t)	16,25	9,03	-1,82	33,69
	T(t)	16,46	7,56	-2,40	
1979	G(t)	16,57	10,27	-1,74	29,04
	T(t)	16,31	8,32	-2,24	
1980	G(t)	16,80	9,61	-1,75	29,04
	T(t)	16,09	8,71	-2,25	

TABLA 6

Mes	Decena	Horas/TSV	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Ene.	1					2	8	16	23	27	28	23	17	9	2			
	2					3	13	22	28	35	30	28	22	13	4			
	3					3	12	21	27	30	33	24	18	10	3			
Feb.	1					6	20	31	41	45	47	38	30	19	6	1		
	2				1	9	19	28	31	36	37	35	26	14	6	1		
	3				1	7	15	18	25	32	35	34	28	13	5	1		
Mar.	1					5	19	34	45	50	51	49	43	33	22	13	3	
	2					3	16	29	39	46	50	49	41	39	30	17	5	1
	3			1	8	24	39	53	61	67	67	63	52	39	23	8	1	
Abr.	1			1	5	16	31	41	49	50	47	44	40	21	11	5	1	
	2			1	10	23	36	55	64	64	65	59	51	41	26	13	2	
	3			2	12	24	37	48	44	51	44	42	34	27	18	9	2	
Mayo	1				5	16	28	46	60	62	65	62	53	42	33	24	13	4
	2				6	18	30	42	55	65	69	67	60	48	33	19	5	1
	3		1	4	14	26	37	51	61	62	60	49	39	31	28	16	5	1
Jun.	1		1	5	17	30	39	46	53	56	55	49	50	46	31	14	4	1
	2		1	7	15	28	38	45	46	57	53	53	42	34	27	16	7	1
	3		1	8	18	30	43	54	60	69	74	71	59	45	30	18	7	1
Jul.	1		1	9	25	41	54	66	75	80	79	74	65	52	37	22	7	1
	2		1	7	23	38	51	65	74	78	77	72	64	51	37	21	7	1
	3		1	5	20	34	48	61	71	74	75	71	62	49	35	20	5	1
Ago.	1		1	5	20	36	50	63	71	75	76	72	63	49	35	20	5	
	2			3	17	32	46	58	66	71	70	66	56	43	29	14	3	
	3			2	14	29	42	52	58	62	63	59	48	38	21	8	1	
Sep.	1			2	10	22	37	51	59	62	62	52	46	33	18	7	1	
	2			1	7	21	35	48	56	59	60	56	45	30	16	5	1	
	3				5	18	31	43	50	55	54	48	38	25	13	3		
Oct.	1				4	16	29	39	50	52	52	45	38	26	13	2		
	2				1	8	18	28	37	40	42	40	32	22	8	2		
	3				1	10	25	38	46	50	48	45	36	23	9	1		
Nov.	1				1	5	16	23	29	31	30	25	18	11	3			
	2					5	18	30	40	43	39	35	27	17	4			
	3					3	16	27	33	34	34	34	28	15	4			
Dic.	1					2	10	17	19	24	26	20	16	8	2			
	2					2	10	18	23	27	28	24	15	7	1			
	3					2	7	16	23	24	25	22	16	9	2			

ISOPLETAS DE RADIACION SOLAR GLOBAL
TALAVERA LA REAL (BADAJOZ) 1978

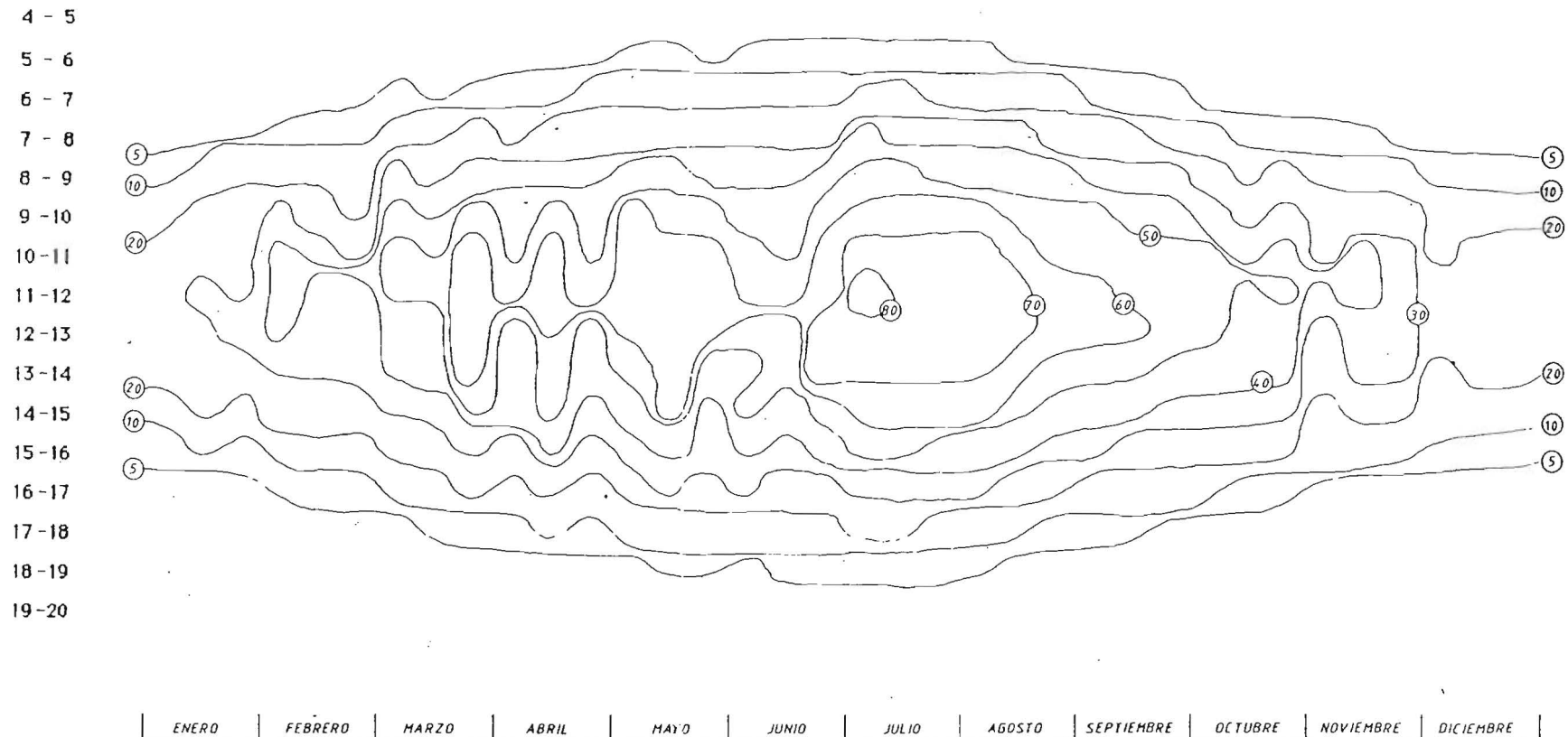


Figura 11

diación global para el citado año, expresadas en ly/hora.

El análisis de la Figura 11 revela la existencia de un máximo absoluto anual que se presenta bajo la forma de un núcleo cerrado y pequeño de 80 ly/hora, situado en la primera decena del mes de julio. Existe otro núcleo de 70 ly/hora, también relativamente pequeño que recoge radiaciones comprendidas entre la tercera decena de junio y la segunda de agosto, ambas inclusive. Progresivamente la radiación va disminuyendo y los núcleos se hacen más grandes.

Las isolíneas de este diagrama conservan una cierta simetría a pesar de presentar fluctuaciones asociadas a cambios en la circulación general de la atmósfera. Esta simetría corrobora las afirmaciones hechas a partir de los resultados estadísticos obtenidos en los apartados precedentes. En concreto, las fluctuaciones radiativas primaverales son atribuibles, principalmente, a la formación de nubes de carácter convectivo, mientras que las fluctuaciones simétricas de otoño obedecen sin duda a situaciones sinópticas.

5. Bibliografía

ARLEY, N. y BUCH, R. (1968): "Introduction to the Theory of Probability and Statistic". John Wiley and Sons, Inc. New York.

DE JONG, B. (1973): "Net Radiation Received by a Horizontal Surface at the Earth". Delft University Press.

BENDAT, J. S. y PIERSON, A. G. (1966): "Measurement and Analysis of Random Data". John Wiley and Sons. pp. 287, U.S.A.

BROOKS, F. A. y MILLER, W. (1963): "Introduction to the Utilization of Solar Energy". Zarem, A. M. y Erway, D. D. Eds. MacGraw-Hill. New York.

EGIDO, M.; TOMAS, C.; SECO, J. y GARMENDIA, J. (1978): "Estudio sobre la Radiación Solar Global en Oviedo". *Rev. de Geofísica*, vol. 2, n.º 2, pp. 185-198.

GONZÁLEZ HURTADO, J. (1980): "Energía Solar". Ed. Alambra. Madrid.

LIU, B. Y. H. y JORDAN, R. C. (1960): "The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct Diffuse and Total Solar Radiation". *Solar Energy*, vol. 4, n.º 3.

ORIO, E. y PUIGCERVER, M. (1974): "Algunos aspectos de la Radiación Solar Global en el Observatorio del Ebro (Tortosa)". *Vrania*, n.º 281-282. Tarragona.

PETTERSEN, S. (1968): "Introducción a la Meteorología". 4.ª Ed. Espasa-Calpe, S.A., Madrid.

ROBINSON, N. (1966): "Solar Radiation". *Elsevier Publishing Company*. Amsterdam-London-New York.

SPIEGEL, M. R. (1975): "Estadística. Serie de Compendios Schaum". McGraw-Hill. Madrid.

THEKAEKARA, M. P. y DRUMMOND, A. J. (1971): "Standard values for the Solar Constant and its Spectral Components". *Nat. Phys. Sci.* 229, 6.